



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 10 258 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 02 B 6/12**  
G 02 B 1/00  
C 23 C 14/35  
C 23 C 14/08

⑳ Aktenzeichen: P 44 10 258.5  
㉔ Anmeldetag: 24. 3. 94  
㉕ Offenlegungstag: 6. 10. 94

**DE 44 10 258 A 1**

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
01.04.93 CH 1005/93

㉗ Anmelder:  
Balzers AG, Balzers, LI

㉘ Vertreter:  
Herrmann-Trentepohl, W., Dipl.-Ing., 44623 Herne;  
Kirschner, K., Dipl.-Phys.; Bockhorni, J., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte; Strasse, M., Rechtsanw.; Grosse, W.,  
Dipl.-Ing., 81476 München; Thiel, C., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat., 44623 Herne; Dieterle, J., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 04109 Leipzig

㉚ Erfinder:  
Edlinger, Johannes, Feldkirch, AT; Kügler, Eduard,  
Feldkirch, AT; Rudigier, Helmut, Bad Ragaz, CH

⑤④ **Optisches Schichtmaterial**

⑤⑦ Zur Herstellung von optischen Schichten mit geringen Verlusten bei erhöhter Beschichtungsrate und tiefen Temperaturen wird vorgeschlagen, Metalloxidschichten durch reaktives magnetfeldunterstütztes DC-Sputtern von metallischen Targets abzulegen, wobei bei einer Lichtwellenlänge von 633 nm Verluste von höchstens 15 dB/cm erzielt werden.

**DE 44 10 258 A 1**

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft:

- ein optisches Schichtmaterial nach Anspruch 1,
- $\text{TiO}_2$  nach Anspruch 3,
- $\text{Ta}_2\text{O}_5$  nach Anspruch 4,
- eine optische Schicht aus einem der genannten Materialien nach Anspruch 12,
- ein optisches Schichtsystem mit mindestens einer derartigen Schicht nach Anspruch 13,
- ein optisches Bauelement mit einer derartigen Schicht nach Anspruch 14,
- einen Wellenleiter mit einer derartigen Schicht nach Anspruch 15 und
- ein Verfahren zur Herstellung eines sich für optische Schichten eignenden Materials nach Anspruch 17.

Es wird auf nachfolgenden Stand der Technik Bezug genommen bzw. darauf verwiesen:

- (1) "Integrated Optics: Theory and Technology", R.G. Hunsperger, Springer-Verlag 1984;
- (2) Arnold et al., "Thin solid films", 165, (1988), S. 1 bis 9, "Ion beam sputter deposition of low loss  $\text{Al}_2\text{O}_3$  films for integrated optics";
- (3) Goell & Stanley, "Sputtered Glass Waveguides for Integrated Optical Circuits", in Bell Syst. Tech. J. 48, 3445 (1969);
- (4) M.D. Himel et al., "IEEE Photonics Technology Letters" 3(10), (1991), S. 921 ff.;
- (5) C. Henry et al., Appl. Optics, 26(13), 1987, 2621, "Low Loss  $\text{Si}_3\text{N}_4$ - $\text{SiO}_2$  Optical Waveguides on Si";
- (6) J. Appl. Phys. 71(9), (1992), S. 4136, Gräupner et al.;
- (7) DE-A-41 37 606;
- (8) "Plasma-Impulse CVD Deposited  $\text{TiO}_2$  Waveguiding Films: Properties and Potential Applications in Integrated Optical Sensor Systems", Mat.Res.Soc., Spring Meeting San Francisco, 1992, Conference publication;
- (9) "Magnetron sputtering deposited AlN waveguides: Effect of the structure on optical properties", A. Cachard et al., Vacuum 41/numbers 4—6/S. 1151 bis 1153/1990;
- (10) Applied Optics, Bd. 14, Nr. 9, September 1975, New York, US, S. 2194—2198, Ingrey et al., "Variable Refractive Index and Birefringent Waveguides by Sputtering Tantalum in  $\text{O}_2/\text{N}_2$  Mixtures";
- (11) Journal of Vacuum Science and Technology, Bd. 11, Nr. 1, Januar 1974, New York, US, S. 381—384, Westwood et al., "Effect of Pressure on the Properties of Reactively Sputtered  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ";
- (12) Journal of Electronic Materials, Bd. 3, Nr. 1, 1974, US, S. 37—50, Cheng et al., "Losses in Tantalum Pentoxide Waveguides";
- (13) Proceedings of the Spie: Hard Materials in Optics, Bd. 1275, 14. März 1990, The Hague, NL, S. 75—79, Howson et al., "The Reactive Sputtering of Hard Optical Films of Tin Oxide";
- (14) Journal of Vacuum Science and Technology: Part A, Bd. 2, Nr. 2, April 1984, New York US, S. 1457—1460, Demiront et al., "Effects of Oxygen in Ion/Beam Sputter Deposition of Titanium Oxides";
- (15) Surface and Coatings Technology, Bd. 49, Nr. 1—3, 10. Dezember 1991, Ljauseanne, S. 239—243, Martin et al., "Deposition of TiN, TiC, and  $\text{TiO}_2$  Films by Filtered Arc Evaporation".

Aus (9) ist es bekannt, mittels reaktiven DC-Sputterns Metallnitridschichten, nämlich AlN-Schichten, herzustellen, welche, als Wellenleiterschicht eingesetzt, bei 633 nm im  $\text{TE}_0$ -Mode Verluste  $>$  als ca. 11 dB/cm ergeben, und es werden von derartigen Schichten mit Verlusten bis zu 5 dB/cm berichtet.

Aus (4) ist es bekannt,  $\text{TiO}_2$  herzustellen, das, als Wellenleiterschicht eingesetzt, Verluste  $<$  10 dB/cm ergibt, ohne daß dabei spezifiziert wäre, für welchen Wellenmode und bei welchen Lichtwellenlängen. Im weiteren ist es daraus bekannt,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  für wellenleitende Schichten einzusetzen, wobei sich Verluste von weniger als 5 dB/cm ergeben, die weder bezüglich Ausbreitungsmoden noch bezüglich Lichtwellenlänge spezifiziert sind. Die Schichten werden hier durch ein ion plating-Verfahren hergestellt.

Übereinstimmend mit diesen Angaben wird noch (1991) in (7) ausgeführt, obwohl Titanoxid aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften als Material für Dünnschicht-Wellenleiter sehr geeignet wäre, weil es eine sehr hohe Brechzahl sowie eine gute chemische Beständigkeit habe und sehr hart sei, sei in der Literatur kein Verfahren zur Herstellung eines verlustarmen  $\text{TiO}_2$ -Dünnschicht-Wellenleiters bekannt, denn  $\text{TiO}_2$  neige bei seiner Herstellung sehr stark zur Kristallisation.

(7) schlägt demnach vor, mittels eines gepulsten Mikrowellenplasma-CVD-Verfahrens als Wellenleiterschicht geeignetes  $\text{TiO}_2$  abzulegen. Als Wellenleiterschicht eingesetzt, ergibt das nach (7) hergestellte  $\text{TiO}_2$  für  $\text{TE}_{01}$ -Wellen nicht näher definierter Wellenlänge Verluste von ca. 2,5 dB/cm. Bezüglich Wellenlänge gilt grundsätzlich, daß die Verluste desto größer werden, je kürzer die Wellenlänge ist.

Aus (2) ist es bekannt,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten mit niedrigen Verlusten  $<$  1 dB/cm bei den nicht spezifizierten Größen Ausbreitungsmoden und Lichtwellenlänge mit Ionenstrahlsputtern herzustellen. Aufgrund des eingesetzten Ionenstrahls ist das vorgeschlagene Herstellungsverfahren für größere Flächen ungeeignet und weist eine relativ geringe Beschichtungsrate auf. Dies ergibt eine entsprechend unwirtschaftliche Schichtherstellung.

Aus (3) ist es bekannt, als Material für wellenleitende Schichten Hf-gesputtertes Glas einzusetzen. (5) schlägt vor, Material, welches sich für den Einsatz als Wellenleiter eignet, mittels Niederdruck-Plasma-CVD und anschließendem Tempern zu erzeugen.

(8) schlägt vor, mittels Plasmaimpuls-CVD  $\text{TiO}_2$  zu fertigen, das, für einen Monomode-Wellenleiter eingesetzt, im  $\text{TE}_0$ -Mode Verluste von 2,4 dB/cm ergibt bzw. von 5,1 dB/cm für den  $\text{TM}_0$ -Mode, je bei 633 nm. Trotz d s

Bekanntseins von (9) wird noch in (6) beschrieben, daß durch reaktives Sputtern von Metallnitridschichten, nämlich von AlN, von einem metallischen Target, Schichten resultieren, die, als Wellenleiterschicht eingesetzt, sehr hohe Verluste von 300 dB/cm aufweisen, bei nicht näher definiertem Ausbreitungsmodus. Ein solches Material kann wegen der extrem hohen Verluste praktisch nicht mehr als optisches Schichtmaterial bezeichnet werden und schon gar nicht als für Wellenleiterschichten geeignet.

Wie das in (7) angesprochene  $\text{TiO}_2$  wären auch andere Metalloxide als optisches Schichtmaterial äußerst geeignet, wobei aber hierfür bekannte Herstellungsverfahren, wie Ionenstrahlsputtern nach (2), Mikrowellenpuls-Plasma-CVD nach (7), Plasmainpuls-CVD nach (8), Niederdruckplasma-CVD nach (5) oder ion plating-Verfahren nach (4), vor allem, was großflächige Beschichtung und Beschichtungsrate anbelangt, nachteilig sind, womit der verbreitete Einsatz derartiger Schichtmaterialien, kommerziell vertretbar, nur schwierig zu realisieren ist.

Die Beobachtungen aus (7), wonach  $\text{TiO}_2$  bei seiner Herstellung zur Kristallisation neige, werden im Jahre 1975 in (10) bezüglich  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ebenfalls berichtet. Nach (10) wurde bereits im Jahre 1975 mittels reaktiven DC-Dioden-Sputterns wellenleitende Schichten vorgeschlagen, gesputtert in  $\text{N}_2$  und  $\text{O}_2$  Gemischgasatmosphäre, somit eigentlich Tantaloxinitrid-Schichten.

Bei Beschichtungsraten von ca.  $0,4 \text{ \AA}/\text{sec}$  und Temperaturen von ca.  $200^\circ\text{C}$  werden im  $\text{TE}_0$ - und  $\text{TM}_0$ -Mode Verluste  $< 1 \text{ dB/cm}$  gefunden, bei einer Wellenlänge von ca. 633 nm. Die Resultate werden dem Nitridanteil in der Sputteratmosphäre zugeschrieben.

In (11) aus dem Jahre 1974 und in (10) bereits berücksichtigt, war es bekannt, für die Herstellung von Dünnschichtkondensatoren und optischen Wellenleitern  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten durch reaktives DC-Diodensputtern in  $\text{O}_2$ /Argon-Atmosphäre abzulagern. Bei Variation der verschiedensten Sputterparameter werden für die besten erhaltenen Schichten Verluste von ca.  $1 \text{ dB/cm}$  beschrieben. Dabei werden folgende Zusammenhänge festgestellt:

Mit zunehmendem Sputterdruck:

- Zunahme der optischen Verluste;
- Zunahme der Beschichtungsrate;
- Abnahme der Beschichtungstemperatur.

Die beobachteten Temperaturen liegen zwischen  $160^\circ\text{C}$  und  $350^\circ\text{C}$  bei tiefen Drücken von ca.  $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mbar}$  Betriebsdruck und bei ca.  $180^\circ\text{C}$  bei höheren Betriebsdrücken von ca.  $8 \cdot 10^{-2} \text{ mbar}$ .

In (12), ebenfalls in (10) und in (11) erwähnt und mit den vorerwähnten Artikeln teilweise von denselben Autoren, werden Vergleiche gezogen zwischen nach unterschiedlichen Verfahren abgelegten  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten, wie von derartigen Schichten abgelegt durch reaktives DC-Sputtern, metallisches Sputtern mit thermischer Nachoxidation bei  $550^\circ\text{C}$  bis  $650^\circ\text{C}$ . Für  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten, abgelegt durch reaktives DC-Sputtern, ergeben sich im  $\text{TE}_0$ -Mode Verluste von 1 bis 6 dB/cm bei Beschichtungsraten von ca.  $0,12 \text{ \AA}/\text{sec}$  und Behandlungstemperaturen von  $200^\circ\text{C}$ .

In Zusammenschau von (12) bis (10) ergibt sich daraus eine Entwicklung der Herstellung von Niederverlust- $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten durch Übergang zu Tantaloxinitridschichten bei reaktivem Dioden-DC-Sputtern mit relativ tiefen Beschichtungsraten und relativ hohen Beschichtungstemperaturen.

Aus (13) ist die Herstellung von  $\text{SnO}_2$ -Schichten bekannt durch DC-Sputtern. Die darin bekannt gemachten Meßresultate lassen auf Verluste in dB/cm schließen, in der Größenordnung von  $3 \cdot 10^4 \text{ dB/cm}$ .

Aus (14) ist es bekannt,  $\text{TiO}_2$ -Schichten durch Ionenstrahlsputtern (ion beam sputtern) herzustellen. Eine Abschätzung aus den veröffentlichten Meßdaten liefert Verluste in der Größenordnung von 400 dB/cm.

Schließlich ist es aus (15) bekannt, durch Funkenverdampfen  $\text{TiN}$ -,  $\text{TiC}$ - und  $\text{TiO}_2$ -Schichten herzustellen. Aus der Extinktionskonstante, welche für  $\text{TiO}_2$ -Schichtmaterial angegeben wird, zu 0,07 bei einer Wellenlänge von 633 nm, ergeben sich sehr hohe optische Verluste.

Unter einem ersten Aspekt ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches Schichtmaterial eines Metalloxides vorzuschlagen, welches wesentlich kostengünstiger herstellbar ist, geringe optische Verluste aufweist und bei geringeren Temperaturen herstellbar als die bekannten Schichten.

Ein solches Material zeichnet sich nach dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 aus.

Durch Einsatz reaktiven, magnetfeldunterstützten DC-Sputtern werden die angegebenen geringen optischen Verluste eingehalten und zudem, wie noch erläutert werden wird, hohe Beschichtungsraten bei geringen Beschichtungstemperaturen erzielt. Unter dem Begriff "magnetfeldunterstütztes Sputtern" werden alle DC-Sputtertechniken verstanden, bei denen Magnetfeldlinien sich tunnelförmig über der Targetoberfläche schließen und/oder sich gebogen von der Targetoberfläche zu benachbarten Anlageteilen erstrecken. Ein besonders bevorzugtes Beispiel derartiger magnetfeldunterstützter DC-Sputtertechniken ist das Magnetron-DC-Sputtern.

Dies ist durch das optische Schichtmaterial nach dem Wortlaut von Anspruch 1 realisiert.

Ein bevorzugtes Schichtmaterial zeichnet sich nach dem Wortlaut von Anspruch 2 aus, woran die Verluste bei 633 nm weiter drastisch verringert sind.

Unter einem zweiten Aspekt ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, verbessertes  $\text{TiO}_2$  bzw.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , was seine optischen Verlusteigenschaften anbelangt, vorzuschlagen. Dies wird, entsprechend, durch die Materialien nach den Ansprüchen 3 bzw. 4 erreicht.

Dem Wortlaut von Anspruch 5 folgend, werden bevorzugte  $\text{TiO}_2$ - bzw.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Materialien kombiniert mit den Merkmalen des Schichtmaterials nach Anspruch 1 vorgeschlagen.

Bevorzugte Ausführungen der genannten Materialien zeichnen sich nach den Ansprüchen 6 bis 13 aus. Insbesondere beziehen sich diese Ausführungsvarianten auf die bevorzugten Materialien  $\text{TiO}_2$  und  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , dabei insbesondere aber auf  $\text{TiO}_2$ .

Einerseits aufgrund des unter wirtschaftlichem Aspekt verbesserten Materials nach Anspruch 1 und/oder der bezüglich ihres optischen Verhaltens verbesserten Materialien nach den Ansprüchen 3 bzw. 4 ergibt sich nach Anspruch 14 eine verbesserte optisch Schicht bzw. nach Anspruch 15 ein bezüglich der genannten Aspekte einzeln oder in Kombination verbessertes optisches Bauelement.

Insbesondere ergibt sich nach Anspruch 17, unter einem oder mehreren der genannten Vorzile betrachtet, ein verbesserter optischer Wellenleiter, insbesondere unter Verwendung von  $\text{TiO}_2$  oder  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , dabei insbesondere von  $\text{TiO}_2$ , als wellenleitendes Schichtmaterial.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines sich für optische Schichten eignenden Metalloxides ist in Anspruch 19 spezifiziert, mit bevorzugten Ausführungsvarianten nach den Ansprüchen 20 bis 30.

Die Erfindung wird anschließend, hinzukommend zu deren Beschreibung durch die Ansprüche selbst und die Beschreibungseinleitung, soweit für den Fachmann überhaupt noch notwendig, beschrieben.

Es zeigt die einzige vorgesehene schematische Figur, anhand einer Anlage-Funktionsblockdarstellung, eine der bevorzugten Möglichkeiten mit Alternativvariante, das erfindungsgemäße Material herzustellen bzw. das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

Die erfindungsgemäßen Materialien werden mit magnetfeldunterstützten Reaktivplasma-DC-Sputterprozessen hergestellt, z. B. mittels Anlagen, wie sie beispielsweise bekannt sind aus der EP-A-0 347 567, US-A-4 863 594, DE-A-37 00 633, US-A-4 693 805, US-A-4 692 230 oder der EP-A-0 501 016.

Bevorzugterweise, und wie aus der EP-A-0 508 359 derselben Anmelderin bekannt, wird das Herstellungsverfahren mit einem Prozeßarbeitspunkt im Übergangsmode durchgeführt. Die EP-A-0 508 359 wird hiermit und insbesondere diesbezüglich zum integrierten Bestandteil der vorliegenden Beschreibung erklärt, desgleichen die entsprechende US-Anmeldung Nr. 07/865 116, angemeldet 8. April 1992.

Heute wird als Anlage zur erfindungsgemäßen Herstellung der erfindungsgemäßen Materialien eine BAK 760 der Anmelderin eingesetzt mit zylinderförmigem, bewegtem Substratkorb und rechteckigem, planarem Magnetron als DC-Sputterquelle. Der Prozeß wird gemäß der EP-A-0 508 359 bzw. der genannten US-Anmeldung im an sich instabilen Übergangsmode durch Regelung stabilisiert.

In einen Vakuumrezipienten 1 mündet eine Gaszuführleitung 3 ein, durch welche ein Arbeitsgas, ein Reaktivgas oder Reaktivgasgemisch umfassend, eingelassen wird. Im Falle der bevorzugten  $\text{TiO}_2$ - oder  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Materialien wird Sauerstoff und beispielsweise Argon eingelassen. Als Sputterquelle ist, wie schematisch dargestellt, eine Magnetfeld-B-unterstützte Sputterquelle 5, wie ein Magnetron, vorgesehen, mit bezüglich Target stationärem oder bewegtem Magnetfeld  $\vec{B}$ . Zerstäubt wird daran die Metallphase des am Werkstück 9 abzulegenden Reaktionsproduktes, also im Falle der bevorzugterweise hergestellten  $\text{TiO}_2$ - bzw.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Materialien vorzugsweise hochprozentig reines Ti oder Ta.

Zwischen der als Kathode wirkenden Sputterquelle 5 und der Anode 7 wird eine mittels eines DC-Signalgenerators 11 erzeugte Plasmaentladung PL unterhalten. Der DC-Generator 11 kann dabei in einer Ausführungsvariante über eine Entladesteuereinheit 13, wie gestrichelt dargestellt, auf die zwischen den Elektroden 7 und 5 gebildete Plasmastrecke wirken. Die Einheit 13, — falls vorgesehen — mit einem Steuereingang E, verbindet die Anschlüsse zu besagten Elektroden mit vorgegebener Repetitionsrate, entsprechend  $f_r$  und während vorgegebenen Zeitspannen  $\tau$  niederohmig, schließt sie im Extrem kurz.

Die Größen  $\tau$  und  $f_r$  können fest vorgegeben werden. Das Entstehen von stochastischen Überschlügen und Durchschlägen, wie sie aufgrund der Belegung insbesondere der Sputterquelle 5 mit isolierender Teilbeschichtung entstehen können, kann dabei beobachtet werden. Die Erscheinensrate und/oder Intensität solcher Durch- und Überschlüge kann dann mit einem Sensor 15 erfaßt und, wie schematisch dargestellt, an einer Vergleichseinheit 17 mit einer vorgegebenen SOLL-Häufigkeit und/oder SOLL-Intensität verglichen werden. Nach Maßgabe des Vergleichsresultates wird in diesem Fall in regelndem Sinne die Zeitspanne  $\tau$  des Niederohmigschaltens und/oder die Repetitionsrate entsprechend  $f_r$  am Eingang E gestellt: Treten die erwähnten Funkenbildungen im Rezipienten 1 zu häufig und/oder zu intensiv auf, wird die Zeitspanne  $\tau$  und/oder die Repetitionsrate  $f_r$  in regelndem Sinne erhöht.

Durch Niederohmigschalten der Einheit 13 wird einer Ladungsbelegung isolierender Schichten, insbesondere an der Sputterquelle 5, gegengewirkt.

Anstelle des Erfassens der erwähnten Funkenbildungen als Regelgröße ist es durchaus möglich — bei Vorsehen der Einheit 13 —, den Strom, der über die Einheit 13 dann fließt, wenn sie niederohmig geschaltet ist, bzw. dessen Verlauf, als gemessene Regelgröße einzusetzen.

Mit einer, wie in der EP-A-0 508 359 gezeigt und erläutert, im Übergangsmode prozeßgeführten Anlage wurden folgende Materialien hergestellt, ohne Vorsehen einer Einheit gemäß 13 der Figur:

#### Vakuumrezipient

Diffusionsgepumpte kubische Beschichtungsanlage mit 5" x 25" Target, planarem Magnetron, Targetmaterial aus 99,99% Metall, Target/Substratabstand 7 cm, rotierendes Substrat, Substrat: Herasil (Markenname).

# DE 44 10 258 A1

## 1. Beispiel

<u>TiO</u> <sub>2</sub>	(a)	(b)	5
Leistung:	10kW	6kW	
Ar-Druck:	8E-4mbar	8E-4mbar	10
Ar-Fluss:	70sccm	71sccm	15
O <sub>2</sub> -Partialdruck:	1,5E-4mbar	1,8E-4mbar	
O <sub>2</sub> -Fluss:	38,1sccm	28sccm	20
Ti-Intensität:	20%	24%	25
Targetspannung: (Metallmode)	-595V	-595V	30
Targetspannung: (Arbeitspunkt)	-560V	-550V	35
Beschichtungsrate:	1Å/sec	0,25Å/sec	
Resultate			40
Brechwert für Licht der Wellenlänge 633nm:	2,42	2,42	45
als Wellenleiterschicht eingesetzt, der Dicke	75,5nm	112nm	50
Verlust bei 633nm im TM <sub>0</sub> -Mode:	0,77dB/cm	0,6dB/cm	55
Substrattemperatur:	≤ 70°C	≤ 70°C	60
			65

## 2. Beispiel

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Leistung: 6 kW  
 Ar-Druck: 2E-3 mbar  
 Ar-Fluß: 50 sccm  
 O<sub>2</sub>-Partialdruck: 8E-4 mbar  
 O<sub>2</sub>-Fluß: 50 sccm

## Resultate

Brechwert bei 633 nm: 2,11  
 als Wellenleiterschicht der Dicke: 91,8 nm  
 Verlust im TM<sub>0</sub>-Mode bei 633 nm: 0,7 dB/cm  
 Substrattemperatur: ≤70°C

## 3. Beispiel

TiO<sub>2</sub> mit Einheit 13 gemäß Figur

Leistung: 5 kW  
 Ar-Druck: 3E-3 mbar  
 Ar-Fluß: 38,23 sccm  
 O<sub>2</sub>-Partialdruck: 1,2E-3 mbar  
 O<sub>2</sub>-Fluß: 36 sccm  
 Ti-Intensität: 26%  
 Targetspannung (Metallmode): -630 V  
 Targetspannung (Arbeitspunkt): -554 V  
 Taktfrequenz fr: 43 kHz  
 Beschichtungsrate: 0,94 Å/sec

## Resultate

als Wellenleiterschicht der Dicke: 89,2 nm  
 Verluste bei 633 nm im TM<sub>0</sub>-Mode: 0,7 dB/cm

Es ist heute ohne weiteres absehbar, daß sich die angegebenen Verluste auf höchstens 0,3 dB/cm optimieren lassen.

## Patentansprüche

1. Optisches Schichtmaterial eines Metalloxides, dadurch gekennzeichnet, daß es durch reaktives magnetfeldunterstütztes DC-Sputtern von einem metallischen Target hergestellt ist und bei einer Lichtwellenlänge von 633 nm Verluste von höchstens 15 dB/cm aufweist.
2. Material nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verluste höchstens 4 dB/cm betragen.
3. TiO<sub>2</sub>, dadurch gekennzeichnet, daß seine Verluste für Licht mit einer Wellenlänge von 633 nm höchstens 1,5 dB/cm betragen.
4. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dadurch gekennzeichnet, daß seine Verluste für Licht mit einer Wellenlänge von 633 nm höchstens 3 dB/cm betragen.
5. Material nach den Ansprüchen 1 und 3 oder nach den Ansprüchen 1 und 4.
6. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die genannten Verluste höchstens 1,5 dB/cm, vorzugsweise höchstens 0,7 dB/cm, dabei vorzugsweise gar höchstens 0,3 dB/cm betragen.
7. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es durch Sputtern eines Targets aus dem Metall hergestellt ist.
8. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es durch getaktetes DC-Sputtern vorzugsweise mit einer Taktfrequenz von höchstens 30 kHz, vorzugsweise von höchstens 20 kHz, hergestellt ist.
9. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßarbeitspunkt bei seiner Herstellung im an sich instabilen Übergangsmod stabilisiert ist.
10. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es hergestellt ist durch

Magnetronspattern.

11. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit einer Absorptionskonstanten  $k$  bei Licht von 633 nm von höchstens  $12 \cdot 10^{-6}$ .

12. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß es mit einer Beschichtungsrate  $\geq 0,5 \text{ Å/sec}$ , vorzugsweise  $\geq 0,9 \text{ Å/sec}$  abgelegt ist. 5

13. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 12, abgelegt bei einer Temperatur  $\leq 150^\circ\text{C}$ , vorzugsweise  $\leq 100^\circ\text{C}$ , vorzugsweise  $\leq 70^\circ\text{C}$ .

14. Optische Schicht aus einem Material nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

15. Optisches Schichtsystem mit mindestens zwei Schichten, woran eine Schicht nach Anspruch 14 diejenige höherbrechenden Materials ist. 10

16. Optisches Bauelement mit einer Schicht oder einem Schichtsystem nach einem der Ansprüche 14 oder 15 als optisch wirksame Schicht bzw. Schichtsystem.

17. Wellenleiter mit einer wellenleitenden Schicht aus einem Material nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die genannten Verluste in einem TM-Monomode gelten.

18. Wellenleiter nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Verluste für den  $\text{TM}_0$ -Mode gelten und/oder für eine plane wellenleitende Schicht. 15

19. Verfahren zur Herstellung eines sich für optische Schichten eignenden Metalloxides mit Verlusten von höchstens 15 dB/cm bei Licht von 633 nm Wellenlänge, gekennzeichnet durch magnetfeldunterstütztes reaktives DC-Sputtern.

20. Verfahren nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch Sputtern eines metallischen Targets, vorzugsweise oxidisches Sputtern. 20

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 oder 20, gekennzeichnet durch reaktives DC-Sputtern im an sich instabilen Übergangsmode.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, gekennzeichnet durch getaktetes DC-Sputtern, vorzugsweise mit einer Taktfrequenz von höchstens 30 kHz, vorzugsweise von höchstens 20 kHz. 25

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, gekennzeichnet durch Magnetronspattern.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23 zur Herstellung optischer Schichten aus dem Material, insbesondere zur Herstellung von  $\text{TiO}_2$ - oder  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten.

25. Verfahren nach Anspruch 24 zur Herstellung einer Wellenleiterschicht.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 25 zur Herstellung von Schichten, deren genannte Verluste höchstens 4 dB/cm betragen. 30

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 26 zur Herstellung von  $\text{TiO}_2$  mit den genannten Verlusten von höchstens 1,5 dB/cm oder von  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten mit Verlusten von höchstens 3 dB/cm, vorzugsweise Schichten mit den genannten Verlusten von höchstens 1,5 dB/cm, vorzugsweise höchstens 0,7 dB/cm, dabei gar vorzugsweise von höchstens 0,3 dB/cm. 35

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß Sputterquelle und eine Gegenelektrode DC-betrieben werden, diese Strecke intermittierend niederohmig verbunden wird und vorzugsweise der dann über die Verbindung fließende Entladestrom und/oder Störentladungen im Prozeßraum beobachtet werden und als gemessene Regelgröße für das Stellen der Repetitionsrate des niederohmigen Verbindens und/oder der jeweiligen Zeitdauer dieses Verbindens in einem Regelkreis eingesetzt werden. 40

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtungsrate  $\geq 5 \text{ Å/sec}$ , vorzugsweise  $\geq 0,9 \text{ Å/sec}$  ist.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtungstemperatur  $\leq 150^\circ\text{C}$ , vorzugsweise  $\leq 100^\circ\text{C}$ , vorzugsweise  $\leq 70^\circ\text{C}$  ist. 45

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

